УДК 553.3/.4:550.4(571.15)

МЕТАЛЛЫ ВО ФЛЮИДНЫХ ВКЛЮЧЕНИЯХ ГРЕЙЗЕНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ (КАЛГУТИНСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ)

А.А. Поцелуев, Д.И. Бабкин, О.А. Козьменко*

Томский политехнический университет
*Институт геологии и минералогии СО РАН, г. Новосибирск
E-mail: poan@ign.tpu.ru

Изучены металлы во флюидных включениях в кварце рудных тел Калгутинского редкометалльного месторождения (Горный Алтай). Преобладают элементы с содержанием n×(100...1000) мг/кг, определяющие промышленную ценность и геохимическую специализацию руд – Mo, W, Cu, Rb, Cs, Cr. Относительно высоким от n×1 до n×10 мг/кг является содержание Th, U, ΣРЗЭ, Ag, Hg. В значительно меньших концентрациях n×(0,1...0,01) мг/кг фиксируются Ru, Rh, Pd, Os, Au, Re. В пределах основной промышленной жилы 87 отмечается закономерное изменение содержания металлов в растворе флюидных включений, которое согласуется с данными по изменению состава газов, общей минерализации флюида, мощности жилы, флюидонасыщенности кварца и распределению графита. Полученные данные позволяют предположить, что в области транспортировки восстановленного флюида металлы находились в форме органометаллических комплексов.

Введение

Исследование условий формирования месторождений, выявление источников вещества и энергии, а так же причин рудоотложения являются важнейшими вопросами минерагении. Их решение лежит в основе генетических построений и является базой прогнозно-поисковых моделей.

Изучению металлоносности рудообразующих флюидов посвящено много работ теоретического характера и только немногие публикации, как пра-

вило, касающиеся золоторудных объектов, опираются на реальные фактические данные [1–7].

В последние годы в составе руд Калгутинского редкометалльного грейзенового месторождения (Горный Алтай) выявлены не характерные для месторождений этого типа высокие концентрации халькофильных и сидерофильных элементов [8–10], в том числе и благородных металлов (Au, Ag, Pt, Pd). В пределах основной промышленной жилы 87 участки аномальных концентраций благородных металлов, особенно платиноидов, контролируются распределением графита. Как показали детальные минералого-геохимические исследования, формирование графита связано с основным этапом рудообразования и обусловлено не полным окислением восстановленного металлоносного флюида [8, 11]. Эти данные, а также результаты исследования других геологических образований рудного поля указывают на значительное влияние глубинного источника вещества и энергии на Калгутинскую рудно-магматическую систему на всех этапах ее развития [10, 11]. В связи с этим проведены специальные исследования по изучению элементного состава флюидных включений (ФВ) в кварце рудоносных геологических образований.

Методика исследований

Рассматриваются результаты изучения распределения металлов во флюидных включениях из кварцев Калгутинского месторождения. Кварц является сквозным минералом рудообразования и законсервированные в нем ФВ удобны и наиболее информативны для сравнительного анализа изменений состава флюидов в процессе образования руд. Анализировался кварц из различных рудоносных образований, которые характеризуют разные этапы формирования месторождения.

Определение химического состава ФВ проводилось в лаборатории термобарогеохимии (зав. лаб. А.А. Томиленко) и аналитическом центре Института геологии и минералогии СО РАН методом ICPMS по разработанной и апробированной в ряде исследований методике [13].

На первом этапе из бороздовых проб, измельченных до 0,5...0,25 мм, были тщательно под бинокуляром отобраны монофракции кварца весом 350 мг. Затем проводилась очистка монофракций путем длительного контакта (в течение 10 дней) с царской водкой. После этого пробы промывались бидистиллированной водой и обрабатывались раствором 2 %-ной азотной кислоты в плотно закрытых тефлоновых стаканчиках при температуре 120 °С в течение 4 ч. Это позволило очистить зерна кварца от микровключений рудных минералов (в том числе и золота) и вторичных флюидных включений.

После этого кварц истирался в агатовой ступке до 200 меш. В заключение кварц выщелачивался раствором 2 %-ной азотной кислоты при 20 °С в течение 48 ч. Объем раствора составлял 5 мл. Далее раствор анализировался методом ICP-MS (масс-спектрометр ELEMENT фирмы Finnigan MAT) на 37 элементов по стандартной методике. Оценка концентраций элементов проводилась по внутреннему стандарту «In», затем определялось содержание элементов в расчете на концентрацию воды во ФВ.

На всех стадиях использовались сублимированные кислоты. Для пробоподготовки использовалась тефлоновая посуда. Пробы перед началом анализа центрифугировались для придания им более однородной консистенции.

Основные результаты и их обсуждение

В растворе ФВ определено содержание 37 металлов, включающих группы лито-, халько- и сидерофильных элементов. В данном сообщении обсуждаются результаты исследования основных металлов, определяющих промышленную ценность руд (Mo, W, Cu), благородных и ряда других элементов, являющихся наиболее контрастными геохимическими индикаторами (табл. 1).

Содержание металлов в растворе ФВ меняется в широких пределах от 0,01 до 7420 мг/кг. В максимальных концентрациях $n\times(100...1000)$ мг/кг отмечаются элементы, главным образом определяющие геохимическую специфику руд – Mo, W, Cu, Rb, Cs, Cr. Относительно высоким – $n\times(1...10)$ мг/кг является содержание Th, U, ΣРЗЭ, Ag, Hg. В значительно меньших, но уверенно определяемых концентрациях $n\times(0,1...0,01)$ мг/кг фиксируются Ru, Rh, Pd, Os, Au, Re.

Таким образом, в составе флюида преобладают металлы, определяющие промышленную ценность и геохимическую специализацию руд Калгутинского месторождения. Выявление в составе флюида элементов платиновой группы (ЭПГ) согласуется с полученными ранее данными о повышенных содержаниях этих элементов в рудах [10].

Сравнение с результатами исследования ФВ других месторождений показывает, что характер металлоносности флюида, очевидно, является ведущим фактором, определяющим главные особенности формируемых рудоносных образований. Так, в составе ФВ золоторудных месторождений Зун-Холбинское [5], Салаирское, Гавриловское, Берикульское [6] отмечаются значительно более высокие (на 2–4 порядка) концентрации Au, при этом значительно ниже (на 1–2 порядка) содержание Cu, Mo, Rb, Cs. В то же время ряд элементов имеют близкие сопоставимые концентрации – Ag, Cr, Y, La, Ce, Pr, Nd, U.

Наряду с общей концентрацией металла во флюиде важными являются условия системы, которые могут быть более благоприятны для выхода в минеральную фазу одних элементов, и напротив менее благоприятны для других. Так, при достаточно близких концентрациях Ag и Hg во ФВ Калгутинского месторождения, в рудах Ag входит в со-

Таблица 1. *Содержание металлов в растворе флюидных включений и в рудных телах, мг/кг*

Рудные тела		Объект исследования (кол-во проб)	Mo	W	Cu	Rb	Cs	Hg	Th	U	ΣРЗЭ	Ru	Rh	Pd	Os	Re	Ag	Au	Cr
Жила 87	Горизонт 20	ФВ (3)	340 / 60…520	160 / 60…270	2260 / 670…3540	160 / 35…375	240 / 200…260	0,6 / 0,3…1,1	33 / 3…64	5 / 3…10	58 / 14…141	0,013 / 0,007…0,018	0,03 / 0,01…0,04	0,09 / 0,07…0,1	0,01 / 0,01…0,014	0,01 / 0,004…0,03	2,5 / 1,9…3,2	0,03 / 0,01…0,06	94 / 21…176
		Рудное тело (5)	1120 / 600…1940	16610 / 60…40000	8850 / 150…40000	250 / 20…600	36 / 3…86	Н.О.	6,8 / 0,3…18	2,4 / 0,4…5	42 / 1…102	н.о.	н.о.	0,03 / 0,0005…0,06	0,01 / 0,0001…0,02	н.о.	8,1 / 0,2…34	0,01 / 0,004…0,03	106 / 17…350
	Горизонт 18	ФВ (3)	180 / 10…360	420 / 250…760	290 / 230…370	200 / 30…530	260 / 190…350	2 / 1,1…3,6	0,2 / 0,1…0,6	0,6 / 0,2…1,2	4 / 1…10	0,01 / 0,006…0,016	0,01 / 0,006…0,013	0,013 / 0,006…0,03	0,03 / 0,01…0,07	0,016 / 0,006…0,03	1,3 / 1…1,4	0,03 / 0,01…0,05	170 / 120…230
		Рудное тело (7)	14570 / 290…40000	24540 / 80…40000	1870 / 600…4000	135 / 5…400	52 / 5…106	н.о.	0,8 / 0,05…3,9	5,9 / 0,4…12	10 / 1…15	н.о.	н.о.	0,13 / 0,004…0,7	0,008 / 0,0001…0,045	н.о.	7,6 / 0,5…22	0,01 / 0,001…0,014	220 / 23…350
	Вся жила	ФВ (3)	260 / 10…520	380 / 50…1450	2180 / 230…7420	150 / 30…530	290 / 190…600	1,7 / 0,2…7,1	16 / 0,05…64	5,7 / 0,2…30	54 / 1…230	0,015 / 0,005…0,03	0,03 / 0,01…0,11	0,07 / 0,01…0,19	0,02 / 0,01…0,08	0,02 / 0,003…0,03	2,7 / 1,1…7,3	0,04 / 0,01…0,1	160 / 20…470
		Рудное тело (20)	7200 / 290…40000	17850 / 60…40000	5840 / 150…40000	180 / 5…600	42 / 3…106	н.о.	3,1 / 0,05…18	4,9 / 0,4…18	28 / 1…102	н.о.	н.о.	0,06 / 0,005…0,7	0,009 / 0,00005…0,05	0,09*	10 / 0,2…41	0,02 / 0,001…0,04	190 / 17…350
Жила 69–70		ФВ (2)	140 / 10…270	190 / 70…300	1130 / 780…1490	140 / 50…240	200 / 190…210	0,9 / 0,3…1,5	7 / 0,1…14	2,4 / 0,4…4	53 / 2…104	0,015 / 0,014…0,016	0,015 / 0,014…0,016	0,09 / 0,08…0,1	0,01 / 0,01…0,01	0,02 / 0,01…0,02	24 / 22…27	0,08 / 0,02…0,15	130 / 120…140
		Рудное тело (12)	8380 / 250…40000	6400 / 60…40000	6330 / 100…15000	150 / 30…400	20 / 5…55	н.о.	1,3 / 0,05…4,3	5,5 / 0,8…27	16 / 5…44	н.о.	н.о.	0,05 / 0,005…0,2	0,0001 / 0,00005…0,0005	н.о.	12 / 0,3…38	0,02 / 0,0005…0,05	150 / 1…300
Мо-шток 1		ФВ (2)	620 / 300…940	60 / 50…70	1020 / 930…1120	70 / 35…110	200 / 170…225	0,2 / 0,2…0,24	0,1 / 0,08…0,1	0,6 / 0,5…0,7	1,3 / 1,1…1,4	0,018 / 0,013…0,022	0,012 / 0,01…0,013	0,03 / 0,02…0,04	0,01 / 0,006…0,013	0,05 / 0,03…0,06	2,2 / 1,8…2,5	0,05 / 0,03…0,07	655 / 630…680
		Рудное тело (38)	11790 / 20…40000	2250 / 30…40000	1990 / 30…20000	230 / 40…700	27 / 3…175	н.о.	1,7 / 0,05…16	4,2 / 0,4…21	18 / 1…133	н.о.	н.о.	0,1 / 0,001…0,6	0,005 / 0,00003…0,014	н.о.	3 / 0,3…6	0,03 / 0,0005…0,2	130 / 1…420

*Числитель – среднее содержание элемента; знаменатель – минимальное и максимальное содержание. н.о. – содержание элемента не определялось. *содержание Re рассчитано по его содержанию в молибдените (0,85 г/т)*

став многих сульфидов и сульфосолей, где его содержание достигает 7,3 % [10]. А ртуть в концентрациях до 0,01 % зафиксирована только в графите, где предполагаются микровключения собственных минералов [8].

Сравнение содержания элементов во ФВ различных рудных тел (табл. 1) показывает, что они имеют близкие характеристики. Это выражается в подобии нормированных кривых (рис. 1) и указывает на единую природу рудообразующего флюида различных рудных тел месторождения.

Вместе с тем имеются и определенные отличия. Достаточно близки концентрации элементов во ФВ жил 87 и 69–70. В тоже время в жиле 87, включающей основные промышленные запасы руд месторождения, содержание большинства металлов (Mo, W, Cu, Cs, Hg, Th, U, Rh, Os) во включениях выше в 1,5...2 раза, исключение составляют Au и Ag, концентрации которых значительно ниже. Возможно, наблюдаемые отличия обусловлены тем, что в отдельных локальных участках пространства (жила 69–70) при меньшем влиянии внешних факторов создавались условия, способствующие более полному выходу металлов из флюида в минеральную фазу. Но это не означает, что содержание металлов в руде также будет выше. Важно учитывать не только содержание, но и масштабы отложенных металлов (запасы). В участках формирования более масштабных тел (жила 87) система была более открыта для поступления новых порций металлоносного флюида, что не способствовало более полному выходу металлов из раствора.

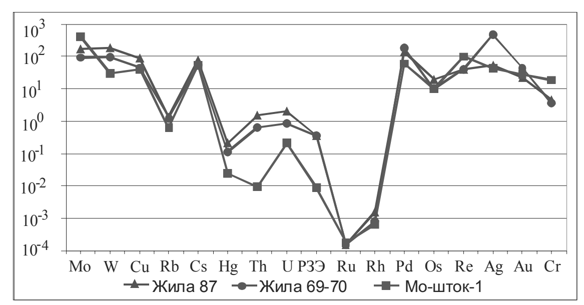


Рис. 1. *Нормированные кривые содержания элементов в растворе включений. Содержание Ru и Rh нормировано по хондритам, остальных элементов по среднему содержанию в Земной коре [7]*

В значительно большей степени отличаются содержания металлов во ФВ «Мо-штока 1». Шток является наиболее ранним образованием по сравнению с жилами [11, 12]. Его формирование происходило в пределах первого подэтапа главного этапа рудообразования и для него характерна значительно более высокая флюидонасыщенность кварца и меньшие температуры минералообразования. Формирование жил 87 и 69–70 относится ко второму подэтапу и отличается меньшей флюидонасыщенностью при более высоких температурах образования. Таким образом, сравнивая состав ФВ штока и жил, можно получить представление об эволюции металлоносности флюида в рамках главного этапа образования руд Калгутинского месторождения. ФВ «Мо-шток 1» отличаются более высокими содержаниями только Mo, Re и Cr. Для ФВ рудных жил характерно более высокое содержание большинства изученных металлов – W, Cu, Rb, Hg, Th, U, ΣРЗЭ, Rh, Pd. Иначе говоря, ранние порции более водного и менее нагретого флюида имели свою специфику (Mo, Re, Cr), в отличие от позднего более «сухого» и высокотемпературного флюида, для которого характерны большие концентрации широкого спектра изученных элементов.

Корреляционный анализ содержаний металлов в растворе ФВ жил позволил выявить устойчивые ассоциации элементов, которые начинают формироваться во флюиде и соответственно отражаются в специфике минеральных образований (рис. 2). Выделяется ряд ассоциаций с сильными внутренними связями: – W, Cr, Hg, U; – Mo, Re, Ba; – Cu, Rh, Ru, Pd; – Th, Zr, Hf; – Ta, Nb; – Y, ΣРЗЭ. Между отдельными элементами, отнесенным к разным ассоциациям, есть сильные положительные связи. Это указывает на то, что в растворе ФВ один элемент может выступать в нескольких формах (истинный раствор, комплексные соединения, коллоиды), что будет способствовать его участию в различных ассоциациях в различных участках изученного пространства рудных жил. При этом основные промышленные элементы рудных жил (W, Mo, Cu) во ФВ образуют автономные ассоциации.

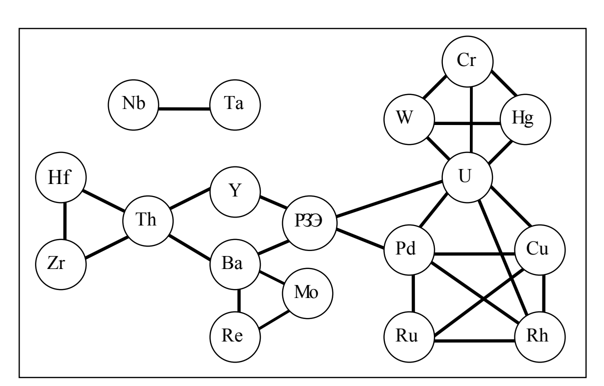


Рис. 2. *Граф ассоциаций металлов в растворе флюидных включений жил 87 и 69–70. Показаны только сильные (>0,80) значимые связи ($\tau_{0,05}$=0,65)*

Интересными являются данные по сопоставлению содержаний элементов во ФВ и рудных телах (табл. 2). Здесь необходимо иметь в виду следующие обстоятельства. Во-первых, «Мо-шток 1» является более ранним по отношению к жилам автономным грейзеновым образованием и руды штока характеризуются (по содержанию основных промышленных компонентов) максимальным содержанием молибдена при более низких концентрациях вольфрама и меди.

Во-вторых, концентрация металлов в рудных телах является результирующим эффектом «разгрузки» металлоносного флюида в области рудообразования в течение достаточно длительного времени, а концентрация металлов во ФВ характеризует состав

Таблица 2. *Отношение содержания металлов в рудных телах к их содержанию в растворе флюидных включений*

Рудные тела	Объект	Mo	W	Cu	Rb	Cs	Th	U	ΣРЗЭ	Pd	Os	Re	Ag	Au	Cr
Жила 87	20 гор.	3	106	3,9	1,6	0,15	0,2	0,5	0,7	0,32	1,1	н.о.	3,2	0,40	1,1
	19 гор.	18	23	1,9	2,0	0,10	0,2	0,5	0,4	0,31	0,26	н.о.	3,0	0,42	1,0
	18 гор.	79	58	6,6	0,7	0,20	3,4	10	2,4	9,8	0,27	н.о.	6,1	0,26	1,3
	Вся жила	28	47	2,7	1,2	0,15	0,2	0,9	0,5	0,95	0,35	5,7	3,8	0,39	1,2
Жила 69–70		60	34	5,6	1,0	0,10	0,2	2,1	0,3	0,56	0,01	н.о.	0,5	0,24	1,2
Мо-шток 1		19	40	2,0	3,2	0,14	16	6,9	14	3,2	0,51	н.о.	1,4	0,65	0,20

Примечание: отношения рассчитаны по данным табл. 1; н.о. – содержание элемента не определялось

флюида в период образования основной массы кварца. «Мо-шток 1» образовался в одну стадию, в отличие от жил, которые формировались в две основные стадии с образованием четырех минеральных ассоциаций. На месторождении в пределах основных рудных жил отмечается наложение (телескопирование) на ранние минеральные ассоциации более поздних образований. Кварц входит в состав первых трех ассоциаций и, как правило, является наиболее ранним минералом. Таким образом, ФВ жил отражают состав флюида определенных стадий образования промышленного оруденения.

Отношение содержаний элементов в рудных телах и во ФВ меняется в значительном диапазоне от 0,01 до 60 ед. (Os и Mo в жиле 69–70). В первую очередь необходимо отметить значительную величину отношения содержаний элементов в рудных телах и во ФВ основных промышленных компонентов – Mo и W, которое составляет 19...60 ед. Для Cu величина этого параметра значительно ниже (2...5,6 ед.), при этом содержание металла во ФВ значительно выше, чем Mo и W. Учитывая, что основная масса медных минералов (главным образом халькопирит, другие сульфиды и сульфосоли) отлагались позже вольфрамита, гюбнерита и молибденита, можно сделать заключение, что исследованы главным образом ФВ, образованные во второй половине основного подэтапа минералообразования при формировании сульфидных и сульфидно-сульфосольных минеральных ассоциаций. Содержание Mo и W во флюиде к этому времени значительно снизилась, а концентрация Cu, видимо, достигала предельных величин.

Следует подчеркнуть, что при высоких концентрациях во флюиде Rb, Cs и Cr, величина отношения содержаний в рудных телах и во ФВ этих элементов составляет 0,5...1,5 ед., а в ряде случаев снижается до 0,1 (Cs). Таким образом, в области образования промышленных руд Mo, W и Cu из металлоносного флюида в минеральную фазу активно отлагались указанные элементы, но ряд других металлов при высоких сопоставимых содержаниях оставались главным образом в растворе, создавая только определенную геохимическую специфику оруденения. Иначе говоря, «рудообразующий потенциал флюида» в этих условиях был реализован далеко не полностью. Эти условия способствовали и сохранению в растворе ФВ ряда благородных металлов – Pd, Os, Au и, очевидно, Ru и Rh. Несмотря на то, что часть серебра отложилась в составе сульфидов и сульфосолей [10], потенциал флюида в этом плане был так же реализован незначительно.

Более детальная информация получена по жиле 87, включающей основные промышленные запасы руд месторождения. Она имеет крутое падение и вскрыта штольнями на трех горизонтах через 60 м (рис. 3). Средняя мощность тела составляет около 1 м, но есть участки увеличенной мощности до 1,5...2 м, что существенно влияет на флюидонасыщенность кварца, общую минерализацию и соотношение газов во флюиде [11]. Ранее было установлено, что в пространстве жилы отмечается закономерное распределение основных промышленно ценных, благородных металлов и графита [10].

По характеру распределения во ФВ жилы 87 все изученные металлы делятся на группы: 1) Mo, Cu, Ag, Pd, Ru, Rh, Re, Th, U, ΣРЗЭ; 2) W, Au, Os, Hg, Cr, Rb. Весьма отлично распределение Cs, повышенные концентрации которого во флюиде тяготеют к участку с максимальной мощностью жилы на 19-м горизонте, там, где отмечаются наибольшие минерализация и углеводородный потенциал флюида.

Для первой группы элементов установлена общая тенденция увеличения концентрации во флюиде от нижнего горизонта к верхнему и к левому (рис. 3) юго-западному флангу жилы. Принимая во внимание определенную согласованность в изменении концентрации металлов во ФВ, общей минерализации флюида, мощности жилы и флюидонасыщенности кварца, можно сделать заключение, что выход флюида в участки жилы большей мощности сопровождался падением давления и температуры, как следствие выходом летучих и увеличением металлоносности раствора. Выше по восстанию жилы ее мощность заметно снижается и здесь в остаточном «законсервированном» флюиде содержание характеризуемых металлов становится максимальным. Важно подчеркнуть, что обратным по отношению к изменению металлоносности флюида является изменение содержания графита в жиле. Его концентрация максимальна в центре на 18-м горизонте и закономерно снижается вверх по восстанию жилы [8]. Таким образом, можно сделать вывод о том, что в процессе окисления восстановленного металлоносного флюида происходит распад металлоорганических соединений, при этом часть металлов выходит из флюида в минеральные фазы (в том числе микровключения минералов в графите), а часть переходит в водный раствор.

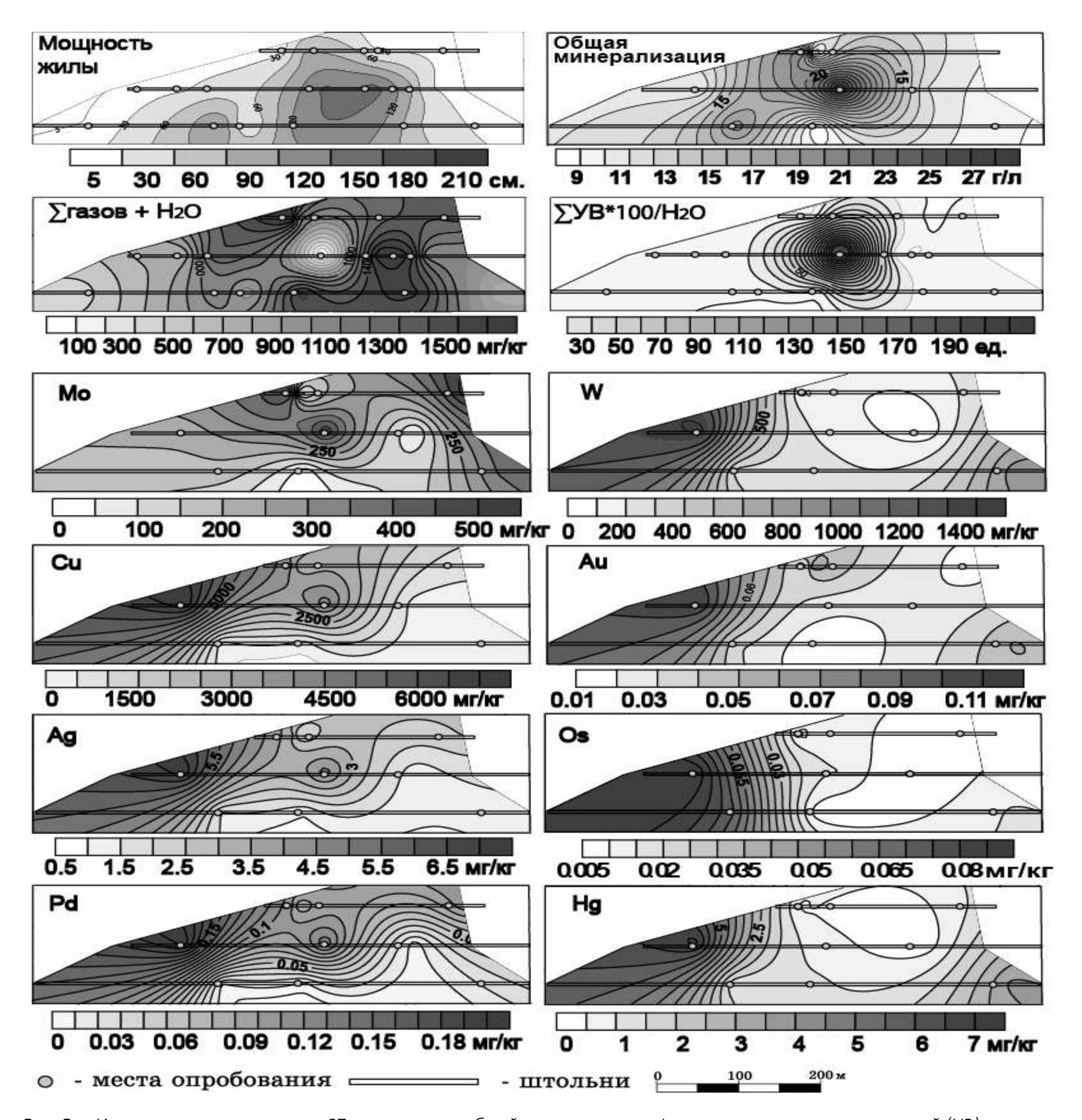


Рис. 3. *Изменение мощности жилы 87, количества и общей минерализации флюида в кварце, углеводородной (УВ) специализации и содержания металлов в растворе ФВ. Проекция на вертикальную плоскость*

Распределение второй группы элементов имеет определенные отличия. Главным образом оно выражается в наличии значительной по площади зоны пониженных содержаний металлов, прослеживаемой с нижнего горизонта с расширением к верхнему. В какой-то степени эта зона совпадает (повторяет контур) с основным участком жилы, имеющем повышенную мощность. Максимальные концентрации элементов приурочены к флангам жилы, особенно ее юго-западной части (левый фрагмент, рис. 3). Если принять во внимание более ранний характер вольфрамовой минерализации в жиле (по отношению к молибденовой и медной), то снижение концентрации металлов в центральной наиболее мощной части жилы можно объяснить разбавлением состава ФВ более поздними растворами, имеющими несколько иную специализацию (Mo, Cu). На флангах жилы, где ее мощность значительно ниже, условия благоприятствовали лучшей сохранности состава ФВ.

Таким образом, отмечается закономерное изменение содержания металлов в растворе ФВ жилы 87, которое согласуется с ранее полученными данными по изменению состава газов. Полученные данные позволяют предположить, что в области транспортировки восстановленного флюида металлы находились в форме органометаллических комплексов, которые характеризуются более высо-

кой термической стабильностью и прочностью, нежели неорганические [1]. Вследствие увеличения в системе концентрации кислорода (воды [10, 11]) за счет протонирования (кислотного выщелачивания [3]) гранитоидов произошло окисление флюида, при этом часть металлов и углерода отложилась в минеральную фазу, а часть перешла в водный раствор.

Основные выводы

1. Во флюидных включениях Калгутинского месторождения преобладают металлы в концентрации $n\times(100...1000)$ мг/кг – Mo, W, Cu, Rb, Cs, Cr. Относительно высоким от $n\times1$ до $n\times10$ мг/кг является содержание Th, U, ΣРЗЭ, Ag, Hg. В значительно меньших концентрациях $n\times(0,1...0,01)$ мг/кг фиксируются Ru, Rh, Pd, Os, Au, Re. Содержания элементов во ФВ различных рудных тел имеют близкие характеристики, что указывает на единую природу рудообразующего флюида.
2. В области образования промышленных руд из флюида в минеральную фазу активно отлагались Mo, W и Cu, но ряд других металлов (Rb, Cs и особенно Cr) при сопоставимых высоких содержаниях оставались главным образом в растворе, создавая только определенную геохимическую специфику оруденения. Существующие условия рудообразования способствовали и сохранению в растворе ФВ ряда благородных металлов – Pd, Os, Au, Ru и Rh. Часть серебра отложилась в составе сульфидов и сульфосолей, но основной потенциал флюида в этом плане был также не реализован.
3. Ранние порции более водного и менее нагретого флюида (формирование Mo-штока 1) имели свою специфику (Mo, Re, Cr), в отличие от позднего более «сухого» и высокотемпературного флюида (формирование жил), для которого характерны большие концентрации широкого спектра изученных элементов (W, Cu, Rb, Hg, Th, U, ΣРЗЭ, Rh, Pd).
4. В пределах основной промышленной жилы 87, отмечается закономерное изменение содержания металлов в растворе ФВ, которое согласуется с данными по изменению состава газов, общей минерализации флюида, мощности жилы, флюидонасыщенности кварца и распределению графита.
5. Полученные данные позволяют предположить, что в области транспортировки восстановленного флюида металлы находились в форме металлоорганических комплексов. Вследствие увеличения в системе концентрации кислорода (воды) в области рудообразования произошло окисление флюида, при этом основная часть некоторых металлов (W, Mo, Cu, ряд других элементов, в том числе и углерод) отложилась в минеральную фазу, а часть перешла в водный раствор.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 05-05-64356).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Банникова Л.А. Органическое вещество в гидротермальном рудообразовании. – М.: Наука, 1990. – 207 с.
2. Летников Ф.А. Сверхглубинные флюидные системы Земли и проблемы рудогенеза // Геология рудных месторождений. – 2001. – Т. 43. – № 4. – С. 291–307.
3. Медведев В.Я., Иванова Л.А. Экспериментальное исследование переноса рудных и петрогенных компонентов в восстановленном флюиде // Доклады РАН. – 2005. – Т. 403. – № 1. – С. 93–95.
4. Новгородова М.И. Самородные металлы в гидротермальных рудах. – М.: Наука, 1983. – 288 с.
5. Прокофьев В.Ю., Гребенщикова В.И., Коваленкер В.А. и др. Условия формирования пород, руд и состав рудообразующих флюидов Зун-Холбинского золоторудного месторождения с платиновой минерализацией (Бурятия, Россия) // Геология, генезис и вопросы освоения комплексных месторождений благородных металлов: Матер. Всеросс. симп. – М.: ООО «Связь-Принт», 2002. – С. 71–74.
6. Рослякова Н.В., Борисенко А.С., Осоргин Н.Ю. и др. Металлы во флюидных включениях золоторудных месторождений // Геохимия рудообразующих систем и металлогенический анализ / Под ред. Ю.Г. Щербакова. – Новосибирск: Наука, 1989. – С. 165–179.
7. Тейлор С.Р., Мак-Леннан С.М. Континентальная кора: ее состав и эволюция: Пер. с англ. – М.: Мир, 1988. – 384 с.
8. Поцелуев А.А., Котегов В.И., Акимцев В.А. Графиты Калгутинского редкометалльного грейзенового месторождения (Горный Алтай) // Доклады РАН. – 2004. – Т. 399. – № 2. – С. 241–244.
9. Поцелуев А.А., Котегов В.И. Зональность и закономерности в соотношении содержаний химических элементов в жилах и околожильных грейзенах (Калгутинское месторождение) // Известия вузов: Геология и разведка. – 2002. – Т. 305. – № 4. – С. 59–66.
10. Поцелуев А.А., Котегов В.И., Рихванов Л.П. и др. Благородные металлы в Калгутинском редкометалльном месторождении (Горный Алтай) // Известия Томского политехнического университета. – 2004. – Т. 307. – № 5. – С. 36–42.
11. Поцелуев А.А., Бабкин Д.И., Котегов В.И. Состав и закономерности распределения газов в кварцах Калгутинского редкометалльного месторождения // Известия Томского политехнического университета. – 2005. – Т. 308. – № 2. – С. 36–43.
12. Сотников В.И., Никитина Е.И. Молибдено-редкометальновольфрамовая (грейзеновая) формация Горного Алтая. – Новосибирск: Наука, 1971. – 260 с.
13. Gotze J., Plotze M., Graupner T. a.o. Trace element incorporation into quartz: A combined study by ICP-MS, electron spin resonance, cathodoluminescence, capillary ion analysis, and gas chromatography // Geochimica et Cosmochimica Acta. – 2004. – V. 68. – № 18. – P. 3741–3759.